

0-737125

КАЗАНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ

На правах рукописи

СИБГАТУЛЛИН Марат Тафкилович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТАЛЛОДЕРЕВЯННЫХ
ШПРЕНГЕЛЬНЫХ БАЛОК

05.23.01-строительные конструкции, здания и сооружения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических
наук

Казань 2003 г.

Работа выполнена на кафедре металлических конструкций и испытания сооружений Казанской государственной архитектурно-строительной академии.

Научный руководитель-

Кандидат технических наук,
профессор Хисамов Р.И.

Официальные оппоненты-

д.т.н., проф. Герасимов Е.Н.

к.т.н., доц. Котлов В.Г.

Ведущая организация-

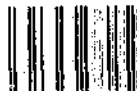
Головная территориальная
проектно - изыскательская,
научно-производственная фирма
«Татинвестгражданпроект»

Защита состоится в 16 часов 10 декабря 2003 года на заседании специализированного совета Казанской государственной архитектурно-строительной академии, 420043, Казань, Зеленая 1, КГ АСА, ауд. № В-209.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанской государственной архитектурно-строительной академии.

Отзыв на реферат в двух экземплярах, заверенный печатью, просим направлять в адрес специализированного Совета.

Автореферат разослан “5” ноября 2003 года



01134

Ученый секретарь специализированного совета кандидат технических наук, доцент

Сулейманов А.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В связи с увеличением потребности перекрытия пролетов, где балки сплошного сечения становятся неэкономичными, возникает необходимость разработки сквозных несущих конструкций, которые были бы просты в изготовлении. Среди них наиболее перспективными являются металлодеревянные конструкции. Древесина является единственным материалом, который восстанавливается природой и хорошо работает на сжатие, а металл - на растяжение. Совместное использование этих материалов в конструкциях приводит к высокой их эффективности. Примером синтеза таких конструкций являются шпренгельные балки. Основным показателем металлодеревянных шпренгельных балок является их простота изготовления и малый расход материала.

Однако существующие конструктивные решения таких балок еще не полностью удовлетворяют запросам практики и находятся в процессе постоянного совершенствования.

Настоящая работа посвящена вопросам поиска и исследования новых эффективных конструктивных форм металлодеревянных шпренгельных балок.

Цель диссертационной работы - дальнейшее совершенствование и исследование новых металлодеревянных шпренгельных балок, характеризующихся пониженной материалоемкостью и трудоемкостью изготовления.

Для достижения указанной цели автором решены следующие основные задачи:

- на основе анализа существующих конструктивных схем предложены новые конструктивные решения балок, обладающих простотой выполнения узловых соединений и пониженным расходом материалов;
- исследована НДС (напряженно-деформированное состояние) и действительная работа нового типа соединения гибкого шпренгеля с деревянным верхним поясом;
- определены оптимальные параметры предложенных шпренгельных балок с разработкой методики их расчета;
- разработаны рекомендации по конструированию и изготовлению таких конструкций.

Научная новизна работы состоит в том, что:

- предложены новые конструктивные решения металлодеревянных шпренгельных балок, новизна опорных узлов которых подтверждена

патентом РФ [4] на изобретение;

- теоретически, численно и экспериментально исследованы НДС и действительная работа нового типа соединения гибкого шпренгеля с деревянным верхним поясом;
- разработаны алгоритмы расчета и составлены программы по определению оптимальных геометрических параметров балок.

На защиту выносятся следующие основные положения диссертационной работы:

- результаты теоретических, численных и экспериментальных исследований работы опорных узлов балок;
- результаты теоретических и численных исследований по назначению оптимальных геометрических параметров металлодеревянных шпренгельных балок.

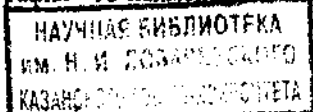
Практический выход и внедрение результатов.

Разработаны новые типы металлодеревянных шпренгельных балок, методика их расчета и оптимального проектирования. Разработаны методические указания по проектированию и конструированию одно-, двух- и четырехстоечных балок для студентов строительных специальностей "Проектирование и конструирование металлодеревянных шпренгельных прогонов с хомутовыми соединениями опорных узлов", которые внедрены в учебный процесс КГАСА. Разработанные рекомендации могут быть также использованы проектировщиками при проектировании и конструировании таких балок.

Апробация работы. Основные результаты проведенных исследований были доложены и получили одобрение на 49-55 научных конференциях Казанской государственной архитектурно-строительной академии в 1997-2003 гг.

По теме диссертации опубликовано 8 работ, в том числе получен патент РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, общих выводов, списка литературы и 9 приложений. Объем 171 страницы, в том числе: основная часть - 134 страниц текста, 71 рисунков и фотографий, 7 таблиц; библиография - 95 наименований на 8 страницах; 9 приложений на 29 страницах.



КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен анализ современного состояния

разработок отечественных и зарубежных конструктивных решений металлодеревянных шпренгельных балок и узлов соединения их элементов. Также выполнен анализ существующих методов расчета и оптимизации таких конструкций.

Отмечаются работы таких авторов, как Валентинавичюс Л.Ю., Дмитриев П.А., Добродеев Н.А., Калинин А.А., Карлсен Г.Г., Кормаков А.И., Кузнецов Г.Ф., Свенцицкий Г.В., Слицкоухов Ю.В., Ханин С.Е., Хисамов Р.И., Чантурия М.А., Юст Э.Э. и др., которые занимались разработкой и конструированием шпренгельных систем и их узлов. Наравне с отечественными, приводятся работы зарубежных авторов как, Гетц К.-Г., ХоорД., Мелер К., Наттерер Ю, разработки Высшей Технической Школы в г. Дрездене (ГДР) и фирмы ЭНСОГУТЦЕЙТ (Финляндия).

Также дан анализ расчета и определения оптимальных параметров шпренгельных систем. Здесь отмечены работы таких авторов, как Алявдин П.В., Бакиев М.В., Гариб Мохамед, Демидов Н.Н., Коршунов А.И., Кочетков Д.А., Отрешенко А.И., Пермяков В.А., Семенов А.А., Трофимович В.В., Щербак С.Б., Яресько В.Ф. и др.

В этой главе также приводятся некоторые особенности работы шпренгельных систем, и изучается авария Ледового стадиона в г. Лениногорске, который спроектирован шведской фирмой Svenk Hallteknik AB, основным несущим элементом покрытия которого является комбинированная система, состоящая из двух одноэтажных металлодеревянных ферм.

Анализ выполненных исследований и разработок, рассмотренных в этой главе, позволил сформулировать основную цель и задачи диссертационной работы, которые изложены выше.

Во второй главе приводится описание конструктивного решения нового опорного узла, отличительной особенностью которого является крепление гибкого шпренгеля с деревянным верхним поясом (рис.1). В опорном узле шпренгель 3, выполненный из полосовой стали шириной "в", плотно огибает торец верхнего пояса 1 и стянут хомутом, состоящим из двух элементов: скобы 4, и планки 5. На торце верхнего пояса 1 для распределения сминающих напряжений вставлен жесткий штамп 6 толщиной "5". Новизна данного конструктивного решения приводит к необходимости исследования НДС (напряженно-деформированное состояние) и действительной работы опорного узла металлодеревянной шпренгельной балки.

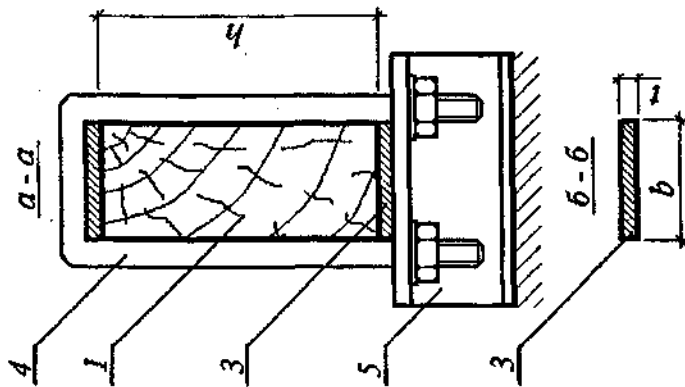
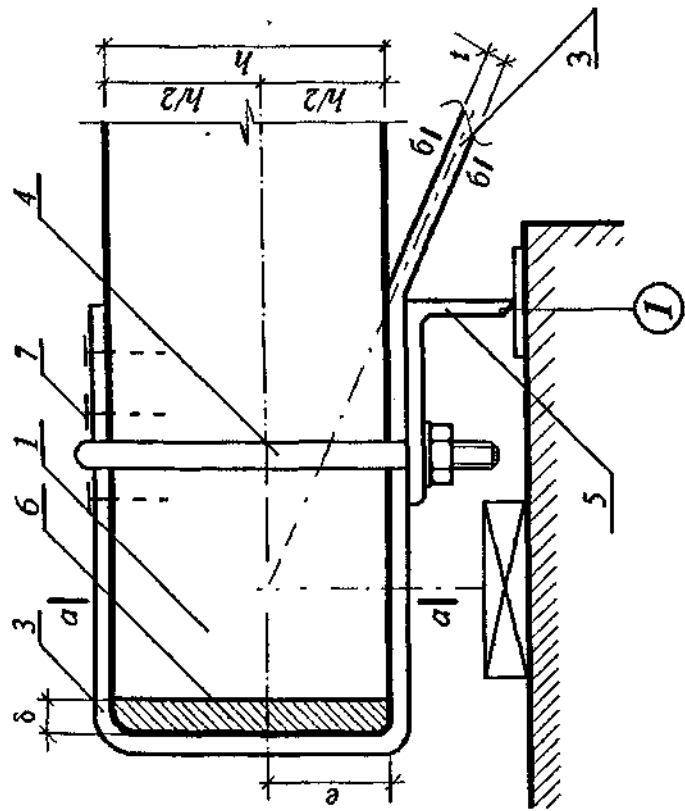


Рис.1. Опорный узел новой металлодеревянной шпренгельной балки. 1- верхний пояс; 3- шпренгель из полосовой стали; 4- скоба; 5- планка; 6- жесткий штамп; 7- нагели.

В связи с целью исследований решены следующие задачи:

1. Исследование поведения шпренгеля - определение усилия проскальзывания шпренгеля через штамп с учетом его закругления (рис.2).

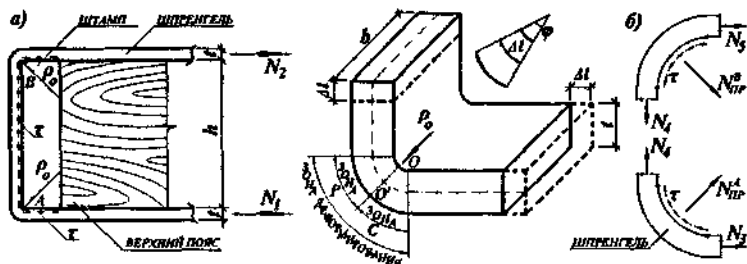


Рис.2 Схема работы шпренгеля в опорном узле.

Усилие проскальзывания без учета трения определяется по формуле:

$$N_{деф} = 236 \times \sigma_T \times (t/2)^2 \times b / 75 \times (p_0 + t/2) \quad (1)$$

2. Определение минимального радиуса закругления из условия работы на смятие.

Минимальный радиус закругления определяется по формуле:

$$R_{min} \geq 1.1 \times N_1 / R_{см.м.} \times b \quad (2)$$

3. Определение толщины штампа с учетом работы древесины торца в упругой и упруго-пластичной стадии.

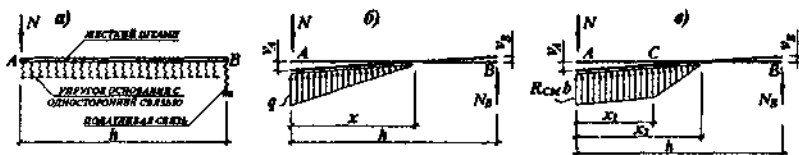


Рис.3. Схема работы штампа в опорном узле.

Расчетная схема торца с жестким штампом приведена на рис.3 а. Здесь древесина торца представлена в виде упругого основания с односторонними связями, нагельные соединения - податливой связью с податливостью «d». Расчетная схема штампа в упругой стадии работы древесины торца представлена на рис.3 б, а в упруго-пластичной стадии - на рис.3в.

Точка С (рис.3в) является границей между участками упругой и пластичной работы древесины. Заменяем усилие в верхней части затяжки и показываем неизвестные величины через перемещения. При упругой стадии работы древесины уравнения равновесия и заменяемые неизвестные принимают вид:

$$\begin{cases} N + N_B - \frac{q \times x}{2} = 0 \\ N_B \times h - \frac{q \times x^2}{6} = 0 \end{cases} \quad (3);$$

$$\begin{cases} q = v_A \times k; \quad N_B = v_B \times d; \\ x = v_A \times h / (v_A + v_B) \end{cases} \quad (4),$$

где k - коэффициент постели; d - податливость связи.

В упруго-пластичной стадии работы древесины:

$$\begin{cases} N + N_B - q \times x_1 - \frac{q \times (x_2 - x_1)}{2} = 0 \\ N_B \times h - \frac{q \times x_1^2}{2} - \frac{q \times (x_2 - x_1)}{2} \times \left(x_1 + \frac{1}{3} \times (x_2 - x_1) \right) = 0 \end{cases}; \quad (5)$$

$$N_B = v_B \times d; \quad x_2 = \frac{x_1 \times v_B + h \times v_C}{v_B + v_C} \quad (6)$$

Определив упругие перемещения по закону Гука и подставив (4) в (3) или (6) в (5) неизвестные вычисляются итерационным путем.

Третья глава посвящена численным исследованиям по определению НДС опорного узла с жестким штампом на торце верхнего пояса.

Численные исследования производились с использованием пакета программ «NELF». Торцы балки рассматривались как плоская шарнирно-стержневая система. Шпренгель и жесткий штамп также представлялись в виде шарнирно-стержневой системы (рис.4 а).

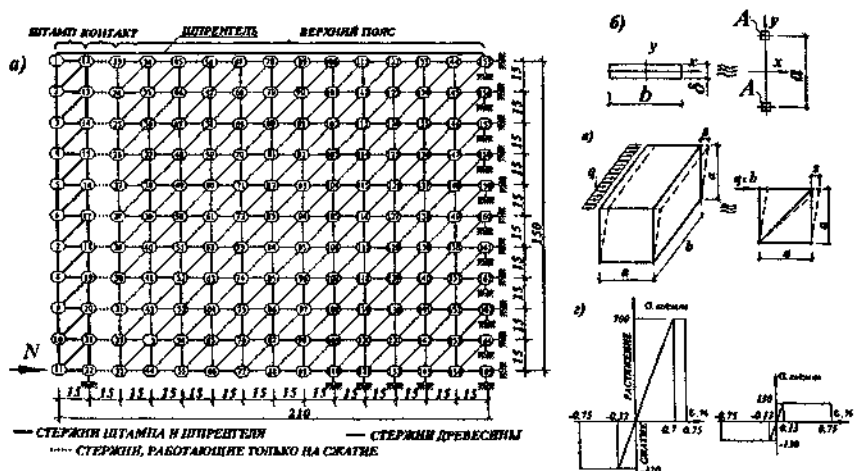


Рис.4. а- расчетная схема опорного узла балки в виде шарнирно-стержневой системы, б, в- схемы для определения площадей сечений элементов, г- диаграммы работы древесины.

Продольные жесткости стержней определялись из условия равенства моментов инерции и из условия равенства сдвигов (рис.4 б,в). Исследования были проведены для бруса сечением 15×6 см без штампа и со штампами толщиной 10, 15, 20, 25, 30 мм, для двух типов диаграмм: для диаграммы действительной работы древесины и с ограничением по СНиПу (рис.4г).

Основные результаты численных исследований данной главы представлены в виде эпюр нормальных напряжений действующих на торце верхнего пояса.

Выводы по главе 3:

1. Применение жесткого штампа для распределения нормальных сминающих напряжений на торце верхнего пояса увеличивает прочность торца смятию вдоль волокон;

2. Численные исследования работы опорного узла без штампа показали, что применение опорных узлов без штампа нецелесообразно, т.к. снижается несущая способность балок;

3. При увеличении толщины штампа, которая определяется в главе 2, напряженно-деформированное состояние торца меняется незначительно.

4. Расхождения между результатами численных и теоретических исследований составляют не более 10 %.

В четвертой главе разработана методика и приводятся результаты экспериментальных исследований действительной работы предложенных узловых соединений балок. Натурные испытания опорных узлов были проведены с целью уточнения НДС и сопоставления их с результатами теоретических и численных исследований. Кроме этого в задачу входило также натурные экспериментальные исследования:

- нагельных соединений для определения податливости;
- работы шпренгеля в месте изгиба на штампе;

Для изучения податливости нагельных соединений, влияющих на работу опорного узла, были проведены экспериментальные исследования на образцах, схема которых представлена на рис.5.

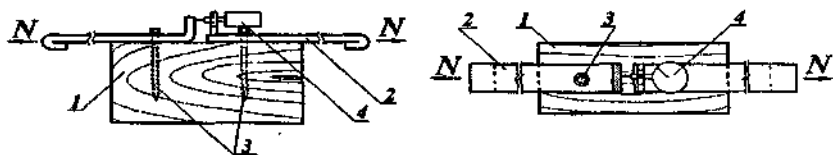


Рис.5 Образец экспериментальных исследований податливости нагельных соединений. 1- деревянный брус сечением 50х80х250 мм; 2- стальная полоса сечением 28х3 мм; 3- глухарь диаметром 6, 8 мм; 4- индикатор часового типа.

В качестве нагелей были использованы глухарь диаметром 6 и 8 мм. Длина глухарей определялась из условия равнопрочности нагеля изгибу и

дрёсины смятию. Усилие на пластины передавалось при помощи электромеханического пресса этапами по 20 кг. На каждом этапе снимались показания по индикатору 4. По результатам этих показаний были построены графики с умножением перемещений на коэффициент длительности действия нагрузки, равное 1.67 (рис.6). В дальнейшем эти графики применялись для определения НДС опорного узла.

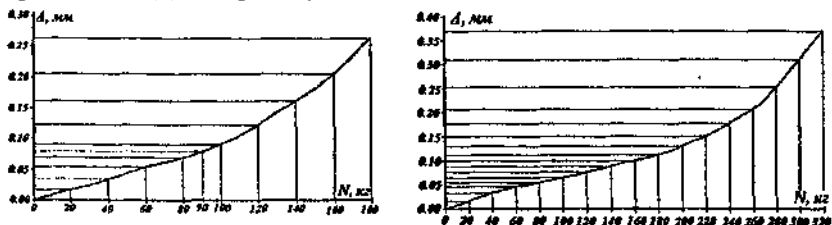


Рис.6 Графики податливости глухарей диаметром 6 и 8 мм.

Для уточнения методики определения параметров шпренгеля были проведены экспериментальные исследования работы шпренгеля в месте изгиба на штампе, образец которого представлен на рис.7.

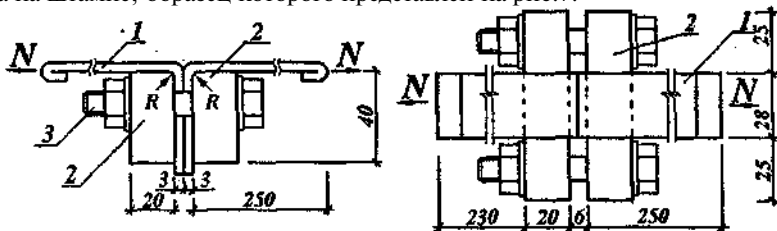


Рис.7. Образец экспериментальные исследования работы шпренгеля в месте изгиба. 1- стальная полоса сечением 3х0.3 см; 2- штамп; 3- болт.

Были изготовлены 4 образца без закругления и 6 образцов с закруглением $R=5$ мм. Образцы испытывались на растяжение на испытательной машине УГ-20/2.

Результаты экспериментальных исследований работы шпренгеля в месте изгиба на штампе показали, что при изготовлении штампов с радиусом закругления по формуле (2), параметры полосы необходимо определять из условия ее работы на растяжение.

Для экспериментальных исследований действительной работы опорного узла были разработаны две методики:

- методика экспериментальных исследований работы торца верхнего пояса на смятие, образец которого представлен на рис.8.
- методика экспериментальных исследований действительной работы опорного узла, образец которого представлен на рис.9.

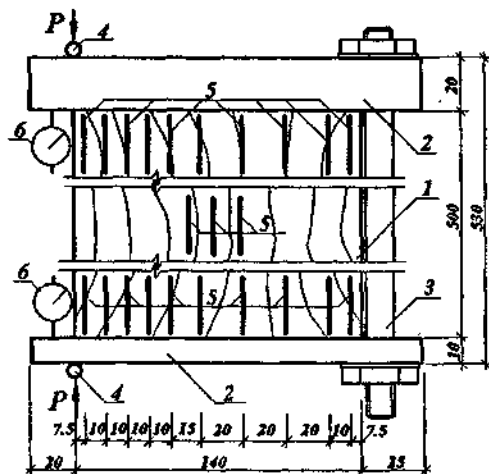


Рис.8. Образец для испытания работы торца металлодеревянной шпренгельной балки. 1- деревянный брус; 2- штампы разной толщины; 3- стержень; 4- отрезки арматуры; 5- тензодатчики сопротивления; 6- индикаторы. P - прикладываемая нагрузка.

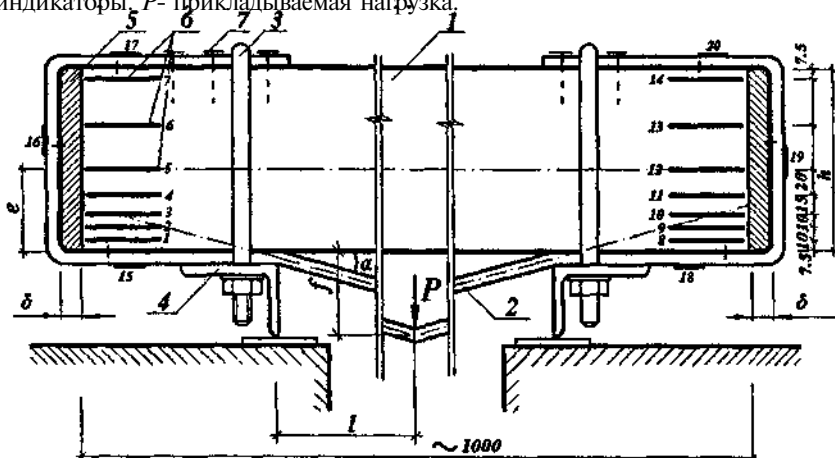


Рис.9. Образец для исследования действительной работы опорных узлов металлодеревянных шпренгельных балок. 1- деревянный брус; 2- шпренгель; 3- скоба; 4- планка; 5- штампы; 6- тензодатчики сопротивления. P - прикладываемая нагрузка.

В исследованиях использовался брус (сосна, 1 сорт) сечением 15×6 см. Напряженное состояние торца изучалась тензометрированием установкой АИД-4, с использованием тензодатчиков базой 50 мм, а величина смятия под штампом контролировалась индикаторами часового типа с ценой деления

0.01 мм и измерительным микроскопом МПБ-2 с точностью 0.01 мм.

Нагрузка прикладывалась рычажным механизмом поэтапно с выдержкой 5-15 мин до стадии разрушения образцов. На каждом этапе снимались показания приборов. Были проведены испытания по первой методике со штампами 10 и 20 мм, по второй методике - без штампа и со штампами толщиной 10, 15, 20 мм.

В результате экспериментальных исследований опорных узлов получено действительное НДС торца верхнего пояса при разных толщинах штампа, которые представлены в виде эпюр нормальных напряжений на торце верхнего пояса. Сравнение эпюр нормальных напряжений при одинаковых исходных данных по результатам теоретических, численных и экспериментальных исследований представлен на рис.10.

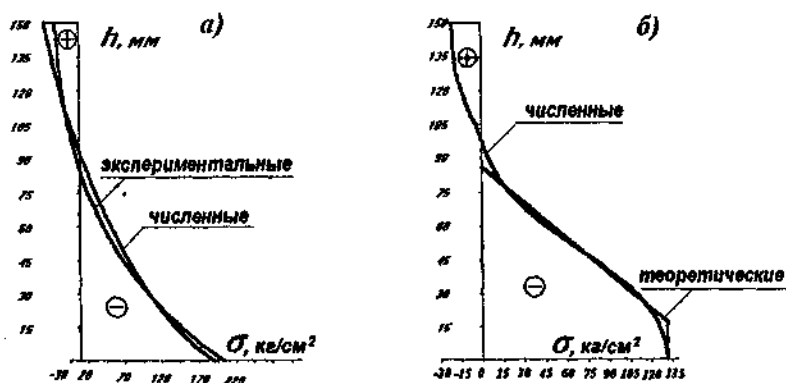


Рис.10. Эпюры нормальных напряжений на торце по результатам: а- численных и экспериментальных исследований, б- численных и теоретических исследований.

Экспериментальные исследования действительной работы опорных узлов позволили получить следующие результаты:

1. Применение жесткого штампа для распределения нормальных сминающих напряжений на торце верхнего пояса увеличивает прочность торца смятию вдоль волокон.
2. При увеличении толщины штампа свыше той, которая определяется в главе 2, напряженное состояние торца верхнего пояса меняется незначительно- 5-8 %.
3. Расхождения между численными и экспериментальными значениями нормальных сминающих напряжений на торце при расчетной нагрузке превышают 15 %

Пятая глава посвящена теоретическим и численным исследованиям новых одно-, двух-, трех- и четырехстоечных

металлодеревянных шпренгельных балок (рис.11).

Основной целью этой главы являлось определение оптимальных параметров этих балок. Задачи этой главы были решены численными и теоретическими исследованиями НДС балок.

Численные исследования НДС балок, проведенные с применением ППП (пакета прикладных программ) «ЛИРА» и «STAR», показали:

- опорный момент разгружает верхний пояс одно-, двух-, и трехстоечных балок при симметричном и асимметричном нагружениях и неблагоприятно влияет на работу верхнего пояса четырехстоечных балок при асимметричном нагружении;
- по сравнению с другими схемами балок, наибольшее негативное влияние асимметричного нагружения на НДС проявляется в трехстоечных балках;
- величину расчетного изгибающего момента в верхнем поясе двухстоечных, трехстоечных и четырехстоечных балок можно уменьшить, изменив соотношение длин панелей;
- на величину расчетного изгибающего момента в верхнем поясе четырехстоечной балки существенное влияние оказывает очертание нижнего пояса.

Проведенные выше исследования показали на необходимость разработки программы расчета НДС с учетом варьирования опорного эксцентриситета, очертания нижнего пояса четырехстоечных балок, расположения временной снеговой нагрузки, соотношения длин панелей верхнего пояса двухстоечных и четырехстоечных балок, высоты балки, что позволяет простыми численными расчетами синтезировать оптимальное конструктивное решение. В алгоритм программы закладывались:

1. Определение прогибов балок с учетом упругих и неупругих деформаций элементов. Прогибы от упругих деформаций определялись по формуле Мора, а от неупругих деформаций - простыми геометрическими вычислениями;
2. Рациональный эксцентриситет определялся из условия минимума расчетного момента в верхнем поясе;
3. Наихудшее расположение снеговой (временной) нагрузки на доле пролета определялось из условия максимума изгибающего момента в верхнем поясе;
4. Вычисление рациональной геометрии нижнего пояса четырехстоечных балок производилось из условия минимума объема древесины на верхний пояс;
5. Нахождение оптимальных параметров балок производилось из условия достижения минимума приведенных затрат на покрытие. Для этого были проанализированы все факторы, влияющие на стоимость покрытия, и сделаны следующие допущения:
 - за стоимость балок, связей можно принять стоимость их материала, ввиду того, что при изменении параметров балки (высоты и длин панелей)

стоимость изготовления и монтажа балок меняется несущественно;
 - стоимость настила и кровли не зависит от параметров балки.

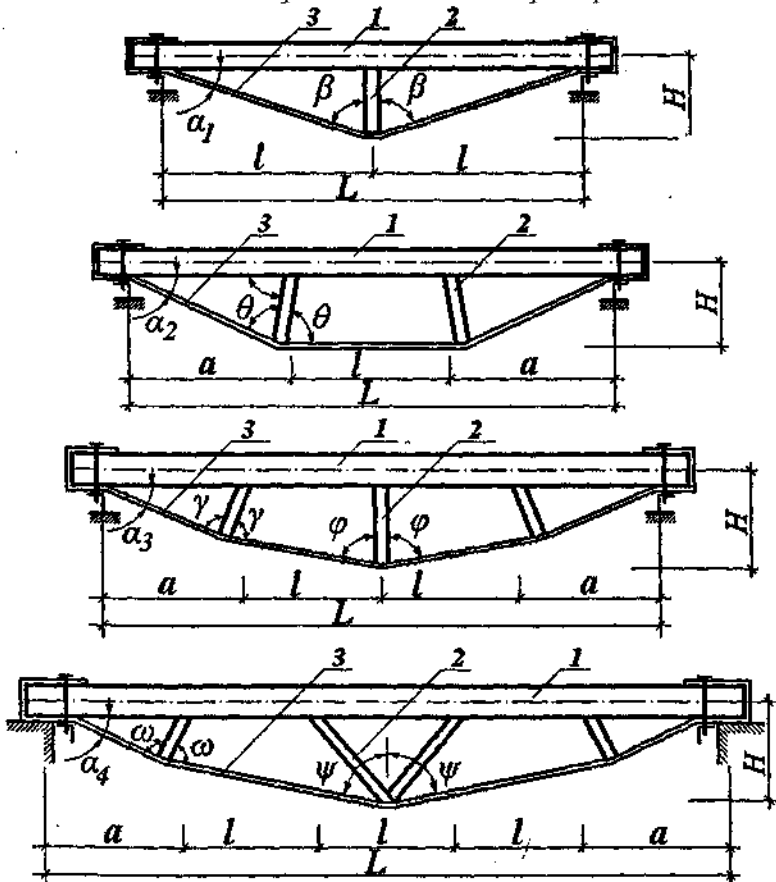


Рис.11. Новые типы металлодеревянных шпренгельных балок. 1- верхний пояс; 2- стойка; 3- шпренгель.

Принимая во внимание вышеприведенные условия и допущения, записываем стоимость покрытия:

$$C = C_b + C_c + C_{ог} + П_{ов}, \quad (7)$$

где $C_b, C_c, C_{ог}, П_{ов}$ - стоимость балки, связей, ограждающих конструкций, приведенные затраты на отопление и вентиляцию межбалочного пространства.

Стоимость шпренгельной балки представлена как сумма стоимостей образующих ее элементов:

$$C_B = \psi_{в.п.} \times A_{в.п.} \times l_{в.п.} \times C_D + \psi_C \times A_C \times l_C \times C_D + \psi_{ш} \times A_{ш} \times l_{ш} \times C_M, \quad (8)$$

где $\psi_{в.п.}, \psi_C, \psi_{ш}, A_{в.п.}, A_C, A_{ш}, l_{в.п.}, l_C, l_{ш}$ - конструктивные коэффициенты, площади сечений и длины верхнего пояса, стойки и шпренгеля;

C_D, C_M - стоимость единицы древесины и металла.

При определении площади связей из условия предельной гибкости их стоимость определяется по формуле:

$$C_C = \frac{\psi_{св} \times \sqrt{l_{св}^3 \times n \times C_D}}{3364}, \quad (9)$$

где $\psi_{св}$ - конструктивный коэффициент связей;

$l_{св}, n$ - длина и количество связей.

Стоимость стеновых ограждений определяем по формуле:

$$C_{ог} = 2 \times \psi_{ог} \times B \times H \times C_{со}, \quad (10)$$

где $\psi_{ог}$ - конструктивный коэффициент ограждений;

$C_{со}$ - стоимость единицы стенового ограждения;

B, H - шаг и высота балок.

Приведенные затраты на отопление и вентиляцию межбалочного пространства складываются из двух частей: отопление и вентиляция объема межбалочного пространства и возмещение теплопотерь через стеновые ограждения:

$$П_{ов} = \psi_{ов} \times (L \times B \times H \times C_{ов} \times k + 2 \times B \times H \times C_T) \times m, \quad (11)$$

где $\psi_{ов}$ - конструктивный коэффициент отопления и вентиляции;

$C_{ов}, C_T$ - стоимость отопления и вентиляции единицы межбалочного пространства за год и стоимость возмещения теплопотерь через единицу площади стенового ограждения;

k - коэффициент использования межбалочного пространства;

m - срок службы здания.

Принимаются следующие ограничения:

- расчетные усилия определяются методом сил;
- параметры верхнего пояса определяются как для сжато-изгибаемого элемента;
- параметры шпренгеля определяются как для растянутого элемента;
- сечение стойки принимается по конструктивным соображениям квадратным, сторона которого равна ширине верхнего пояса;
- устойчивость верхнего пояса считается обеспеченным настилом;
- прочность торца верхнего пояса ограничивается системой (5);
- прогиб балки определяется по вышеприведенной методике и ограничивается по СНиПу.

Далее из условия минимума функции (7), при соблюдении вышеприведенных условий определяются оптимальные параметры балки.

Блок-схема программы для определения оптимальных параметров двухстоечных балок представлена на рис. 12.

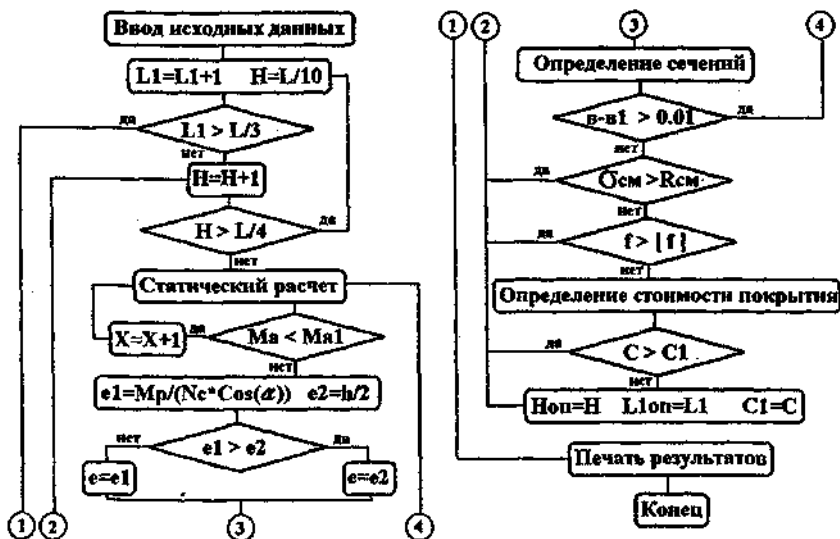


Рис.12. Блок-схема программы для определения оптимальных параметров двухстоечных балок.

Блок-схемы программ для определения параметров одностоечных и четырехстоечных балок похожи с учетом следующих корректировок:

- для одностоечных убирается блок определения длин приопорных панелей;
- для четырехстоечных добавляется блок для определения рациональной геометрии шпренгеля.

Разработанные программы позволяют определить все необходимые параметры шпренгельных балок: наихудшее асимметричное нагружение, рациональный узловой эксцентриситет, соотношение длин панелей, высоту балки, сечения элементов.

Оптимальные параметры металлодеревянных шпренгельных балок зависят от многих факторов: типа балки, применяемых материалов (сорт древесины или марка стали, соотношение сторон верхнего пояса), соотношения постоянных и временных нагрузок, типа конструкции (прогоны или самостоятельно несущие конструкции), типа здания (отапливаемое или не отапливаемое) и другие. Поэтому построение графиков для определения оптимальных параметров балок не представляется возможным, поскольку их точность будет не достаточна. В качестве примера можно привести графики для определения оптимальной высоты балок при применении их в качестве прогонов. Графики зависимости высоты балки от пролета при соотношении сторон верхнего пояса $h/b=1$ для IV снегового района и для разных схем

балок представлены на рис.13.

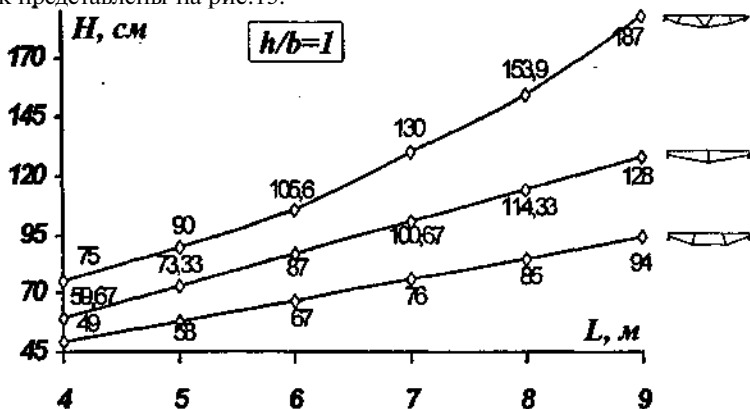


Рис. 13. График зависимости высоты балки от пролета

Также можно определить рациональную геометрию нижнего пояса четырехстоечных балок, задавая координаты приопорной стойки. Эти координаты представлены в виде графиков на рис.14.

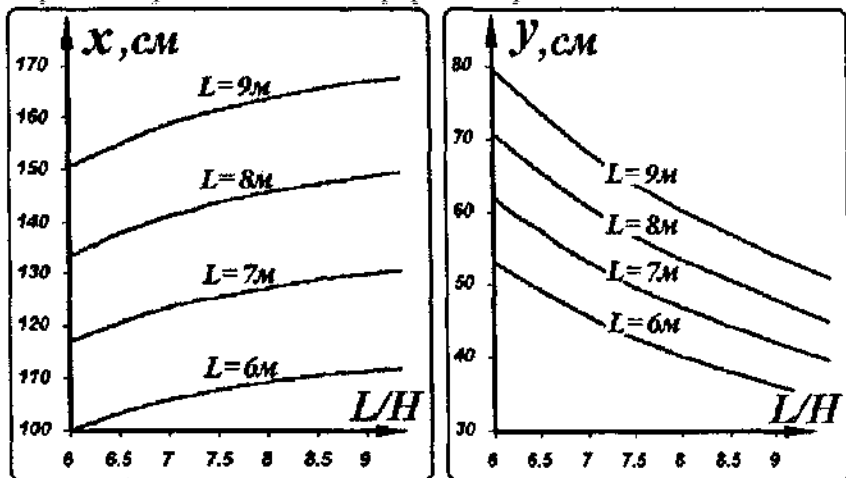


Рис.14. Графики для определения рациональных координат нижних узлов приопорных стоек четырехстоечных балок.

Результаты исследований оптимальных параметров шпренгельных балок позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Определяющим для назначения параметров верхнего пояса одностоечных и двухстоечных металлодеревянных шпренгельных балок при реальных параметрах является работа верхнего пояса на сжатие с изгибом, а

для четырехстоечных балок- как работа верхнего пояса на сжатие с изгибом, так и работа торца верхнего пояса на смятие вдоль волокон.

2. Опорный момент разгружает верхний пояс одно-, двух-, трехстоечных шпренгельных балок при симметричном и асимметричном загрузениях и неблагоприятно действует на работу верхнего пояса четырехстоечных балок при асимметричном загрузении. Величину эксцентриситета, который создает опорный момент следует принять:

для одностоечных и двухстоечных балок $e = h/2$;

- для четырехстоечных балок $e = h/2$;

3. Наихудшим загрузением для определения параметров верхнего пояса является:

- для одностоечных балок- симметричное или половинное асимметричное (временное) загрузение;

- для двухстоечных балок- асимметричное загрузение, где снеговая нагрузка действует на 0.56 части пролета;

- для четырехстоечных балок- симметричное или асимметричное загрузение, где снеговая нагрузка действует на 2/3 части пролета.

При этом разница изгибающих моментов в верхнем поясе не превышает 1.5%.

4. Трехстоечные металлодеревянные шпренгельные балки не эффективно работают на асимметричную нагрузку. Объем древесины на верхний пояс возрастает при этом в 2-3 раза, поэтому их применение не рекомендуется.

5. При применении металлодеревянных шпренгельных балок в качестве самостоятельных несущих конструкций утепленных зданий их высоту необходимо определить из условия обеспечения II предельного состояния - прогибов.

6. Для упрощения расчетов, конструирования и изготовления длины панелей двухстоечных и четырехстоечных шпренгельных балок можно принять равными. При этом разница в объемах древесины не превышает 3 %.

В шестой главе приведены результаты анализа технико-экономической эффективности исследованных балок и рекомендации по их изготовлению.

Для анализа технико-экономической эффективности использован коэффициент стоимости K_c . Он показывает величину нагрузки, которую может нести (поднять) вложенный в конструкцию 1 рубль. Чем больше коэффициент K_c , тем эффективнее конструкция.

$$K_c = \frac{q \times L - G}{C} \left(\frac{\kappa z}{руб} \right), \quad (13)$$

где C- стоимость конструкции.

Стоимость конструкции включает стоимость материала, стоимость изготовления, стоимость отопления и стоимость ограждающих конструкций

в зависимости от высоты несущих конструкций.

Эффективность применения исследованных балок определена путем сопоставления коэффициентов стоимости. Были соблюдены условия сопоставимости конструкций - все они рассчитывались на одну и ту же нагрузку и имели одинаковые пролеты. Результаты анализа приведены в табл.1.

Раздел 1.01 Техничко-экономические показатели несущих конструкций.

Таблица 1.

Тип несущей конструкции	K_c
Прокатные двутавровые балки	104.97
Балки из круглой древесины	81.40
Балки из брусьев	116.45
Балки из клееной древесины	50.14
Ранее известные одностоечные балки	127.84
Ранее известные двухстоечные балки	133.21
Новые одностоечные балки	135.95
Новые двухстоечные балки	141.33
Новые четырехстоечные балки	126.18

Таким образом, сравнение технико-экономических показателей конструкций показывает, что среди конструкций при пролете 6 метров самым эффективным является предложенная двухстоечная металлодеревянная шпренгельная балка с опорными разгружающими моментами.

В данной главе также приводятся рекомендации по проектированию, конструированию и изготовлению новых одно-, двух-, трех- и четырехстоечных металлодеревянных шпренгельных балок.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Разработка и исследование новых металлодеревянных шпренгельных балок и теоретические, численные и экспериментальные исследования их опорных узлов позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. На основе анализа существующих конструктивных решений металлодеревянных шпренгельных балок предложены новые одностоечные, двухстоечные, трехстоечные и четырехстоечные металлодеревянные шпренгельные балки, новизна опорных узлов которых подтверждена патентом РФ на изобретение.

2. Теоретически, численно и экспериментально исследована действительная работа нового опорного узла и разработана методика расчета с определением:

- а) Рациональной толщины штампа;
- б) Прочности торца верхнего пояса смятию.

Расхождения между теоретическими и численными значениями не превышают 10 %, а между численными и экспериментальными значениями не более 15%.

3. Определены оптимальные параметры одностоечных, двухстоечных и четырехстоечных шпренгельных балок (высота и соотношение длин панелей) из условия минимума затрат на покрытие с выявлением:

- а) Наихудших случаев загрузки одностоечных, двухстоечных и четырехстоечных шпренгельных балок;
- б) Рациональных величин узловых эксцентриситетов, создающих опорный момент;
- в) Рациональной геометрии нижнего пояса четырехстоечных шпренгельных балок.

4. Разработаны методики расчета с реализацией в программах «БАЛКА-1», «БАЛКА-2» и «БАЛКА-4» для расчета новых одно-, двух- и четырехстоечных металлодеревянных шпренгельных балок.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Сибгатуллин М.Т. Разработка и исследование металлодеревянных шпренгельных прогонов. Материалы 50-й республиканской научной конференции. Сборник научных трудов аспирантов. Казань: КГАСА, 1999 г.-с.168-173.
2. Сибгатуллин М.Т. Исследование и разработка металлодеревянных шпренгельных прогонов и их опорных узлов. Разработка и исследование металлических и деревянных конструкций. Сборник научных трудов. Казань: КГАСА, 1999 г.-с.43-50.
3. Сибгатуллин М.Т. Яна тер металл-агач урэчэле ерлеклэрнен камиллеген тикшеру. "Наука и язык". Научно-информационный журнал, №1(2), 1999, с.62-65.
4. Хисамов Р.И., Сибгатуллин М.Т. Опорный узел металлодеревянного шпренгельного прогона. Патент на изобретение РФ №2140501 от 27.10.99. Е 04 С 3/02. Бюл. 30.
5. Сибгатуллин М.Т. Теоретические исследования работы опорных узлов металлодеревянных шпренгельных балок. Материалы 51-й республиканской научной конференции. Сборник научных трудов аспирантов. Казань: КГАСА, 2000 г.-с.117-121.
6. Сибгатуллин М.Т. Металл-агач урэчэле ерлеклэрнең терек тееннарен санча методлар белен тикшеру. "Наука и язык". Научно-информационный журнал, №4,2000, с.58-60.
7. Сибгатуллин М.Т. Экспериментальные исследования работы опорных узлов. Материалы 53-й республиканской научной конференции. Сборник научных трудов аспирантов. Казань: КГАСА, 2001 г.-с.73-76.
8. Сибгатуллин М.Т. Оптимальные параметры шпренгельных балок на основе наименьших стоимостных показателей. Материалы 54-й республиканской научной конференции. Сборник научных трудов аспирантов. Казань: КГАСА, 2002 г.-с.49-52.

